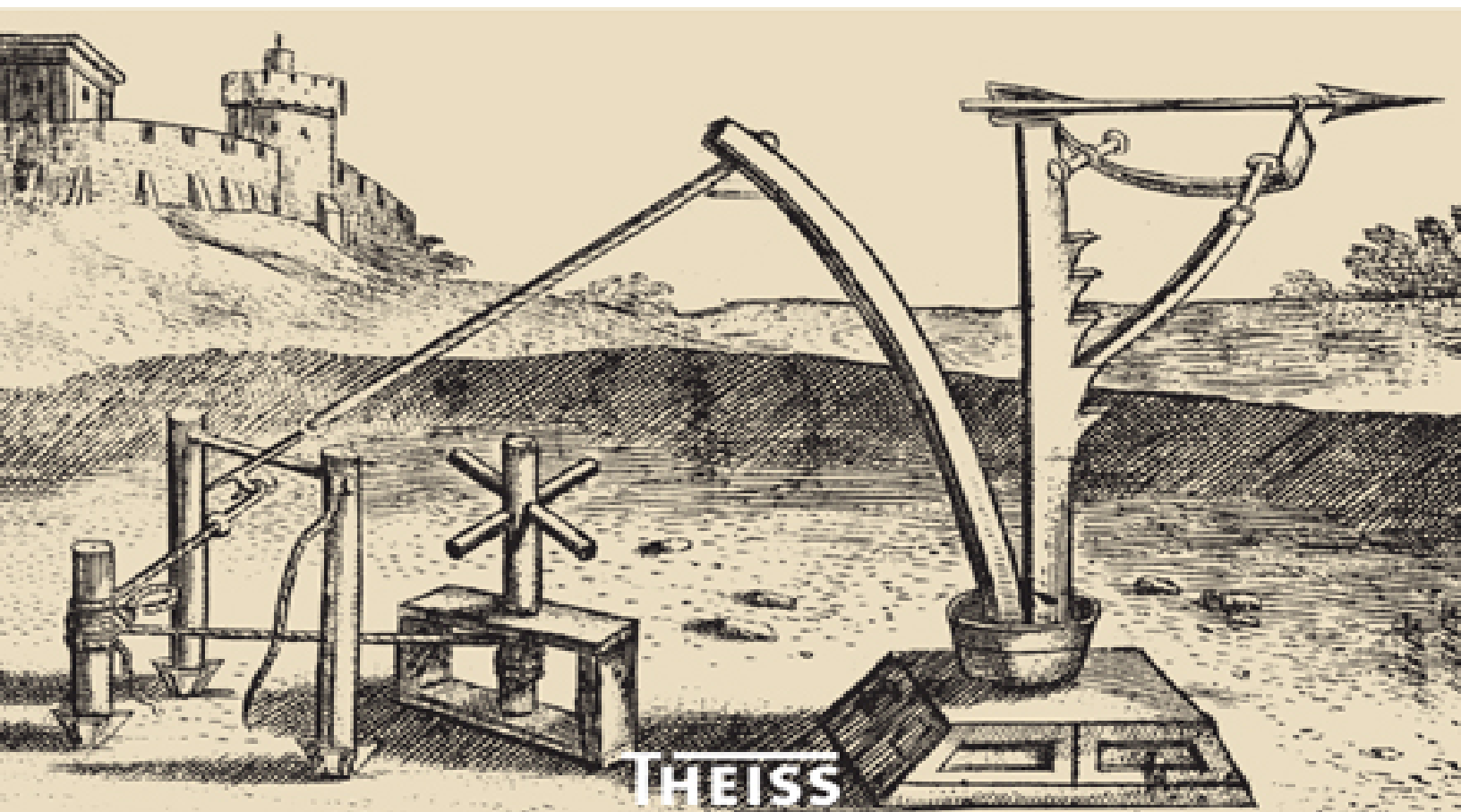
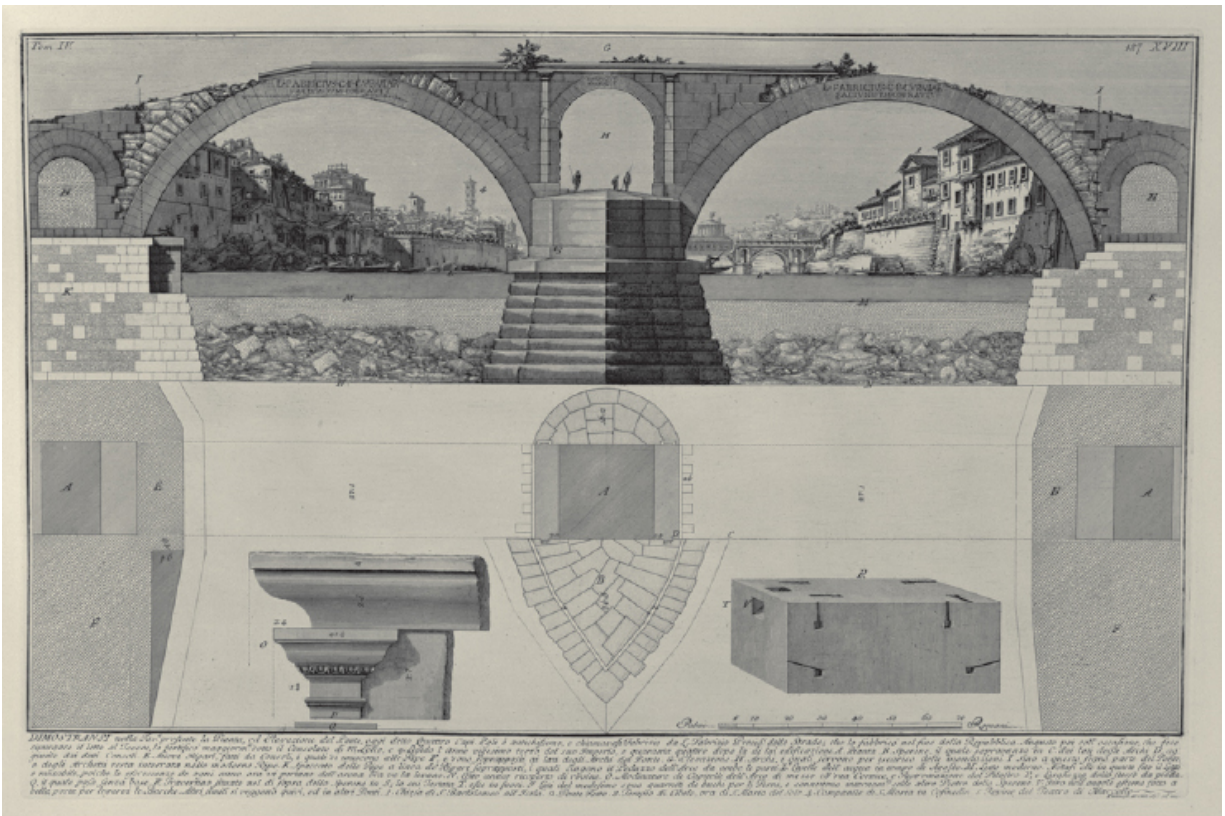


BRIGITTE CECH

Technik in der Antike





Ponte Fabricio. Aus: Giovanni Battista Piranesi, Le Antichità Romane, vol. 4, 1756.

Brigitte Cech

**Technik
in der Antike**

THEISS

Für meine Eltern

Impressum

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

Sonderausgabe 2017. 3., überarbeitete Auflage 2012
Der Theiss Verlag ist ein Imprint der WBG.
© 2012 by WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), Darmstadt
Umschlaggestaltung: Harald Braun, Berlin
Umschlagbild: Kriegsmaschine. Kupferstich aus: Justus Lipsius, Poliocreticon sive de machinis, tormentis, telis, Antwerpen 1599.
Foto: © akg-images
Layout, Satz und Prepress: Lohse Design, Heppenheim
Die Herausgabe des Werkes wurde durch die Vereinsmitglieder der WBG ermöglicht.
Gedruckt auf säurefreiem und alterungsbeständigem Papier
Printed in Germany

Besuchen Sie uns im Internet: www.wbg-wissenverbindet.de

ISBN 978-3-8062-3639-2

Elektronisch sind folgende Ausgaben erhältlich:

eBook (PDF): 978-3-8062-3650-7

eBook (epub): 978-3-8062-3651-4

Menü

[Buch lesen](#)

[Innentitel](#)

[Inhaltsverzeichnis](#)

[Informationen zum Buch](#)

[Informationen zur Autorin](#)

[Impressum](#)

Inhalt

Vorwort

I. Quellen zu Technik und Ingenieurwesen der Antike

1. Literarische Quellen
2. Epigraphische und ikonographische Quellen
3. Baudenkmale
4. Bodendenkmale und archäologische Quellen

II. Grundlagen der Technik und des Ingenieurwesens der Antike

1. Energiequellen
2. Naturwissenschaftliche Grundlagen

III. Messtechnik

1. Zeitmessung
2. Landvermessung

IV. Tunnelbau

1. Planung der Tunneltrasse ober Tage
2. Übertragung der Trassenführung
3. Beispiele für antike Tunnelbauten

V. Bautechnik

1. Baumaterialien
2. Mauertechniken
3. Baugerüste
4. Fundamentierung
5. Spundwandtechnik
6. Bogen- und Gewölbebau
7. Kuppelbau
8. Überdachung
9. Verputz, Wandmalerei und Stuck
10. Fußböden
11. Keller und Kryptoportiken
12. Heizungsanlagen
13. Krane und Hebewerke

VI. Straßen- und Brückenbau

1. Straßenbau
2. Brückenbau

VII. Wassertechnik

1. Dammbau
2. Wasserräder und Wasserkraftnutzung
3. Wasserhebung
4. Qanate
5. Wasserleitungsbau und städtische Wasserversorgung

VIII. Agrartechnik

1. Pressen
2. Mühlen
3. Mähmaschine

IX. Schiffbautechnik

1. Bauweise und Ausstattung
2. Schiffstypen
3. Navigation, Seewege und Fahrtgeschwindigkeit von Segelschiffen
4. Binnenschiffe

X. Bergbau- und Aufbereitungstechnik

1. Bergbautechnik
2. Aufbereitungstechnik

XI. Verhüttung, Raffination und Legierungen

1. Verhüttung und Raffination
2. Legierungen

XII. Kriegstechnik

1. Bogenkatapult – *gastraphetes* (Bauch-Bogen)
2. Torsionskatapulte
3. Zur Effektivität antiker Katapulte

Anhänge

- 1: Antike Maß- und Gewichtseinheiten und Münzwerte
- 2: Der römische Abakus und die Grundrechnungsarten
- 3: Vitruvs Analemma
- 4: Beispiele für die Anwendung der *dioptra*
- 5: Rekonstruktion des Antriebs einer Steinsäge nach dem Relief auf dem Sarkophag des Ammianos aus Hierapolis (2. Hälfte des 3. Jahrhunderts n. Chr.)
- 6: Die Wasserversorgung der Stadt Rom am Ende des 1. Jhs. n. Chr.

7: Kurzer Abriss der Geschichte des Bergbaus von Laurion

Literatur

Register

Abbildungsnachweis

Vorwort

Die technischen Leistungen der Antike sind atemberaubend. Im Brückenbau, bei Kuppeln und Wasserleitungen gelangen Meisterwerke, die über viele Jahrhunderte nicht mehr erreicht wurden. Die Präzision antiker Messtechnik ist verblüffend. Zu Großstaten wie Staudämmen oder Tunnelbauten war das europäische Mittelalter nicht mehr fähig. Die einzelnen Aspekte antiker Technik werden hier in ihren Grundzügen vorgestellt und anhand ausgewählter Beispiele erklärt. Dabei wird auch auf die Gesetze der Mechanik, der Statik, der Hydraulik und andere Gesetzmäßigkeiten eingegangen, auf denen diese Errungenschaften beruhen und die teilweise bereits in der Antike als Gesetze erkannt und formuliert worden sind. Das Ziel dieses Buches ist es, die beeindruckenden technischen Leistungen der griechischen und römischen Antike möglichst umfassend und vor allem verständlich darzustellen.

Allen voran gilt mein Dank Prof. Dr. Kai Brodersen, der die Idee zu diesem Buch hatte, sich bei der Wissenschaftlichen Buchgesellschaft dafür einsetzte und mir so die Möglichkeit gab, ein Buch zu schreiben, das ich immer schon lesen wollte. Ein Buch über die verschiedensten Aspekte der Technik und des Ingenieurwesens der Antike zu schreiben, ist ein schwieriges Unterfangen, das ohne Unterstützung und Anregungen von Kollegen und Freunden kaum zu bewerkstelligen ist. Ihnen allen gilt mein Dank für ihre Diskussionsbereitschaft und fachliche Beratung. Ganz

besonders danke ich meinem langjährigen Kollegen und Freund Prof. Dr.-Ing. Thilo Rehren, Professor for Archaeological Materials and Technologies am Institute of Archaeology, University College London für seine fachliche Unterstützung bei der Abfassung des Kapitels über Aufbereitung, Verhüttung, Raffination und Legierungen. Für Hilfe bei altphilologischen Fragen danke ich meinem Kollegen Dr. Andreas Hofeneder, Institut für Alte Geschichte der Universität Wien. Meine Kollegin Dr. Sigrid von Osten und mein Diplomand Ing. Mike Reibnagel haben dankenswerterweise das Manuskript gelesen und mich auf sprachliche und fachliche Ungereimtheiten aufmerksam gemacht. Dank gebührt auch meinen Studenten für ihr Interesse an diesem Thema und für die vielen Fragen, die sie mir in den Vorlesungen gestellt haben, und vor allem für die anregenden Diskussionen bei entspannten „Nachkolloquien“ im Gasthaus. Last but not least danke ich Daniel Zimmermann von der Wissenschaftlichen Buchgesellschaft für die sorgfältige Lektoratsarbeit.

Wien, im Frühjahr 2009

Brigitte Cech

Für die überarbeitete Neuausgabe wurde ein aus redaktionellen Gründen nur kurzes Kapitel über die auf einem Relief aus Hierapolis dargestellte, mit Wasserkraft getriebene Steinsäge als Anhang 5 eingefügt.

Wien, im Herbst 2010

I. Quellen zu Technik und Ingenieurwesen der Antike

Die Quellen zur Technik und zum Ingenieurwesen der Antike zeichnen sich durch große Vielfalt aus. Diese Vielfalt macht die Beschäftigung mit diesem Themenkreis einerseits äußerst schwierig, andererseits aber auch ausgesprochen spannend. Die Diversität der Quellen macht es notwendig, ihre Interpretation der jeweiligen Quellengattung anzupassen. Bei literarischen Quellen ist es wichtig, die Absicht des Autors zu hinterfragen und sich über sein Zielpublikum, so weit das heute noch möglich ist, Gedanken zu machen. Eine weitere Erschwernis ist, dass nicht alle antiken Autoren, die über technische Fragen schreiben, gleich gut informiert sind. Es ist ein Unterschied, ob ein Autor aus eigener Erfahrung schöpft, wie beispielsweise Vitruv, oder seinerseits von Quellen abhängig ist, wie Plinius der Ältere. Vitruv gibt, aus seinem reichen Erfahrungsschatz schöpfend, Anleitungen, wie man bautechnische Probleme lösen soll. Plinius konnte nicht zu allen Themen, die er behandelt, verlässliche Quellen finden, und nicht immer hat er die Dinge, über die er schreibt, auch wirklich verstanden. Ikonographische Quellen sind genauso kritisch zu betrachten. Es gilt zu fragen, was die Absicht des Bildhauers oder Malers war, wie gut er über sein Motiv informiert war und in welcher Detailtreue er ein Thema in dem von ihm gewählten Medium darstellen konnte. Bei archäologischen Quellen gilt es zu beachten, wie gut etwas erhalten ist und wie es

zur Zerstörung oder Aufgabe einer Siedlung, eines Industriestandortes oder anderer Anlagen kam und vor allem, wie gut und gewissenhaft der jeweilige Ausgräber seine Funde freilegte und seine Befunde dokumentierte. Die Verbindung dieser unterschiedlichen Quellen miteinander und eine der jeweiligen Quellengattung angepasste Interpretation sowie Quellenkritik sind die Voraussetzungen für das Verständnis antiker Technik und antiken Ingenieurwesens.

1. Literarische Quellen

Zahlreiche Werke antiker Autoren beinhalten Informationen zu technischen Aspekten. Dazu gehören Beschreibungen der Ausführung von Bauwerken, wie zum Beispiel Caesars Beschreibung der Konstruktion der Rheinbrücke (Caes. bell. Gall. 4, 17), oder die Beschreibung des Baus einer Straße in einem Gedicht des Statius (Stat. silv. 4). Die Erwähnung und Beschreibung von Bauwerken und technischen Anlagen ist eine wichtige Hilfe für die Datierung und Rekonstruktion noch vorhandener Anlagen und für die Interpretation der Befunde archäologischer Ausgrabungen. Beispiele dafür sind die Erwähnung des Wasserableitungstunnels des Albaner Sees südlich von Rom im Geschichtswerk des Livius in Zusammenhang mit dem letzten Krieg Roms gegen Veji am Anfang des 4. vorchristlichen Jahrhunderts (Liv. 5, 15,2-7) oder Herodots Beschreibung des Eupalinostunnels auf Samos (Her. hist. 3, 60). Weiterhin finden sich Informationen zu Bauzeiten und zu bei der Bauausführung aufgetretenen Problemen. Sueton erwähnt in seiner Biographie des Kaisers Claudius (Suet. Claud. 20), dass der Wasserableitungstunnel am Fuciner See nach elfjähriger Bauzeit eröffnet wurde, und Tacitus (Tac. ann. 12, 57) und Cassius Dio (Cass. Dio 61, 5) berichten über Probleme bei

der Inbetriebnahme dieses längsten Tunnelbaus der Antike. In seltenen Fällen waren literarische Quellen lange Zeit die einzigen bekannten Hinweise auf technische Anlagen, wie zum Beispiel die Erwähnung von mit Wasserrädern getriebenen Steinsägen in einem Gedicht des Ausonius (Auson. Mos. 362–364). Bei der Beurteilung dieser Quellen, zu denen Geschichtswerke, Biographien und Gedichte gehören, ist zu beachten, dass die Beschreibung technischer Anlagen und Vorgänge meist nicht das primäre Anliegen der Autoren ist.

Neben diesen Werken, in denen technische Aspekte nur am Rande Erwähnung finden, gibt es einige grundlegende Werke, die ausschließlich technische Fragen zum Inhalt haben. Es sind dies die Werke des Heron von Alexandria, Vitruvs Bücher über Architektur und Frontinus' Buch über die Wasserversorgung der Stadt Rom. Plinius der Ältere geht in seinem enzyklopädischen Werk *Naturalis historia* („Naturkunde“) ebenfalls auf technische Fragestellungen ein. Wichtige Quellen zur Landwirtschafts- und Lebensmitteltechnik sind die Werke Catos des Älteren und Columellas. Die Werke all dieser Autoren sind wichtige literarische Quellen zur Technik der Antike, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Heron von Alexandria (1. Jh. n. Chr.)

Der einzige Hinweis auf die Lebenszeit dieses Autors ist seine Erwähnung einer Mondfinsternis in Ägypten (Heron diop. 35), die von heutigen Astronomen auf den 13. März 62 n. Chr. datiert wird. Aus Herons Werken geht hervor, dass er Zugang zu einer großen Bibliothek hatte und der griechischen und lateinischen Sprache mächtig war. Seine Werke sind auf Griechisch abgefasst und haben sehr oft den Charakter von Lehrbüchern, wobei er auf Praxisbezug großen Wert legt. Aus diesen wenigen vorhandenen Fakten

kann man schließen, dass er mehrere Jahre am Museion, der großen Bibliothek von Alexandria, als Forscher und Lehrer tätig war. Ihm verdanken wir den Großteil unseres Wissens über Mechanik, Physik und Rechenverfahren der Antike. Sehr genau beschreibt er beispielsweise Aufbau und Funktionsweise von Hebevorrichtungen, Pressen und Kriegsmaschinen, wobei er auch auf die Materialien eingeht, die zum Bau derartiger Maschinen verwendet werden sollten. Zusätzlich zu diesen Geräten, die praktische Anwendung fanden, beschreibt er auch Dinge, die wir heute als „Spielzeug“ bezeichnen würden und von denen er genau wusste, dass eine praktische Anwendung nicht möglich war. Im Einführungskapitel seiner *Pneumatika* schreibt er dazu: „Einige von ihnen sind sehr nützlich für die tägliche Anwendung, andere bringen eine sehr beachtliche Wirkung hervor.“

Seine Werke sind erstens die *Pneumatika* („Druckwerke“): In zwei Büchern werden 75 Maschinen beschrieben, bei denen Luft-, Wasser- oder Dampfdruck zur Anwendung kommen; zweitens die *Automatopoietike* („Herstellung von Automaten“): Darin beschreibt er im Wesentlichen die Konstruktion von zwei kleinen mechanischen Puppentheatern und drittens die *Mechanika* („Mechanik“): Dieses aus drei Büchern bestehende Werk ist nur in arabischer Übersetzung aus dem 9. Jahrhundert erhalten. Buch 1 beschäftigt sich im Wesentlichen mit Übersetzungsverhältnissen und ihren Anwendungen, dem Parallelogramm der Kräfte, der maßstäblichen Verkleinerung beziehungsweise Vergrößerung verschiedener geometrischer Figuren sowie mit Rollen und Flaschenzügen, der Bestimmung von Schwerpunkten und der Verteilung von Belastungen. Buch 2 befasst sich mit den Grundelementen der Mechanik, nämlich der Wirkung von Winde, Hebel, Rolle, Keil und Schraube. Die Kurbel war in der Antike unbekannt. Buch 3 beinhaltet die praktische

Anwendung der in Buch 2 beschriebenen Bauteile, hauptsächlich bei Kranen, Hebevorrichtungen und Pressen.

Darüber hinaus werden in den *Katoptrika* („Theorie der Spiegel“) die Theorie der Lichtbrechung und verschiedene Arten von Spiegeln – flache, konkave und konvexe Spiegel – sowie Spiegelanordnungen für Trickeffekte diskutiert.

Die Schrift *Metrika* ist eine Abhandlung in drei Büchern über Messungen in der Geometrie, und in der *Dioptra* befasst sich Heron mit Theorie und Praxis der Vermessung. Nach einer Beschreibung der *dioptra*, eines Vermessungsinstruments, folgen praktische Beispiele für die Lösung einer Reihe vermessungstechnischer Probleme. Die *Definitiones* („Definitionen“) sind als Einführung einer Sammlung mathematischer Aufgaben erhalten, die im 11. Jahrhundert von einem byzantinischen Gelehrten zusammengestellt wurden. Die Autorenschaft ist umstritten.

Die *Geometrumena*, eine Einführung in die Geometrie, sind nur bruchstückhaft erhalten; die Schrift *Stereometrumena* („Raumgeometrie“) beinhaltet unter anderem, wie man die Anzahl der Sitzplätze in einem Theater berechnet, wie die Anzahl von Amphoren, die in einem Schiff von gegebenem Tiefgang, gegebener Breite und Länge untergebracht werden können, berechnet wird und wie man die Anzahl der Dachziegel für ein Gebäude von gegebenen Abmessungen und gegebener Gestalt berechnet.

Hérons *Belopoiika* („Über die Konstruktion von Katapulten“) und *Cheiroballistra* („Das handbediente Katapult“) schließlich sind wichtige Quellen für die Waffentechnik.

Vitruv (1. Jh. v. Chr.)

Über die Biographie Vitruvs, der mit vollem Namen Marcus Pollio Vitruvius hieß, wissen wir nur das Wenige, was er uns selbst in seinem Werk *De architectura* überliefert. Nach seiner Ausbildung zum Architekten diente er wahrscheinlich als *praefectus fabrum* (Offizier der Pioniertruppe) in Caesars Heer. Nach Caesars Ermordung trat er in den Dienst des Augustus, wo er zunächst ebenfalls hauptsächlich als Militärtechniker tätig war. Nach seiner Entlassung aus dem Militärdienst war er wahrscheinlich an den Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserversorgung der Stadt Rom beteiligt. Das einzige Gebäude, von dem wir sicher wissen, dass er es entworfen hat, ist die Basilika von Fanum (Fano), einer Stadt an der italienischen Adria. Sein Werk, das er selbst „eine vollständige Enzyklopädie für Architekten“ nennt, ist eine der wichtigsten Quellen zur Technik der Antike und behandelt folgende Themen: Buch 1 bringt eine Auflistung der Kenntnisse, über die ein Architekt verfügen soll. Buch 2 behandelt das Bauwesen im Allgemeinen und die verschiedenen Baumaterialien. Die Bücher 3, 4 und 5 sind der Architektur von Tempeln und öffentlichen Gebäuden gewidmet. Buch 6 beginnt mit einem Exkurs über den Zusammenhang zwischen Klima und der Gestaltung von Gebäuden. In weiterer Folge wird auf den Entwurf von Stadt- und Landhäusern sowie Gutshöfen eingegangen. Buch 7 befasst sich mit Außen- und Innendekoration. Buch 8 behandelt Fragen der Wasserversorgung und des Wasserleitungsbaus sowie Allgemeines zur Ingenieurtechnik. Buch 9 ist den Themen Astronomie, Optik und Zeitmessung gewidmet und in Buch 10 beschreibt Vitruv Krane, Wasserpumpen, Wasserräder sowie Katapulte und sonstige Belagerungsmaschinen.

Frontinus (um 35-103/104 n. Chr.)

Sextus Iulius Frontinus wurde wahrscheinlich in Südfrankreich geboren und gehörte dem Ritterstand an. 69 n. Chr. war er bereits Angehöriger des Senats. Nach seinem Konsulat im Jahr 73 n. Chr. war er Statthalter von Britannien. 78 n. Chr. kehrte er nach Rom zurück und wurde 96 n. Chr., nach dem Regierungsantritt Nervas, Mitglied des engsten Führungskreises. Ein Jahr später ernannte ihn der Kaiser zum *curator aquarum*, dem Leiter der städtischen Wasserversorgung der Stadt Rom. Seinem eigenen Zeugnis zufolge besaß er keine Vorkenntnisse über Wasserbau, beschäftigte sich aber sofort nach seinem Amtsantritt intensiv mit diesem Thema. Sein Werk *De aquis urbis Romae* („Über die Wasserversorgung der Stadt Rom“) ist als Handbuch für ihn selbst und für seine Nachfolger gedacht. Ausführlich beschreibt er die neun Wasserleitungen, über die Rom zu seiner Zeit mit Wasser versorgt wurde. Sein Werk enthält Angaben über die Beschaffenheit der Quellen und ihre Schüttung, die Wassermengen, die in den *castella* in Rom ankommen, und die in den Akten verzeichneten Wassermengen. Ferner gibt er den Wasserverbrauch des Kaiserhofes, öffentlicher Einrichtungen und von Privathaushalten an. Ebenso zitiert er Wasserversorgung und Wasserrechte betreffende Gesetze.

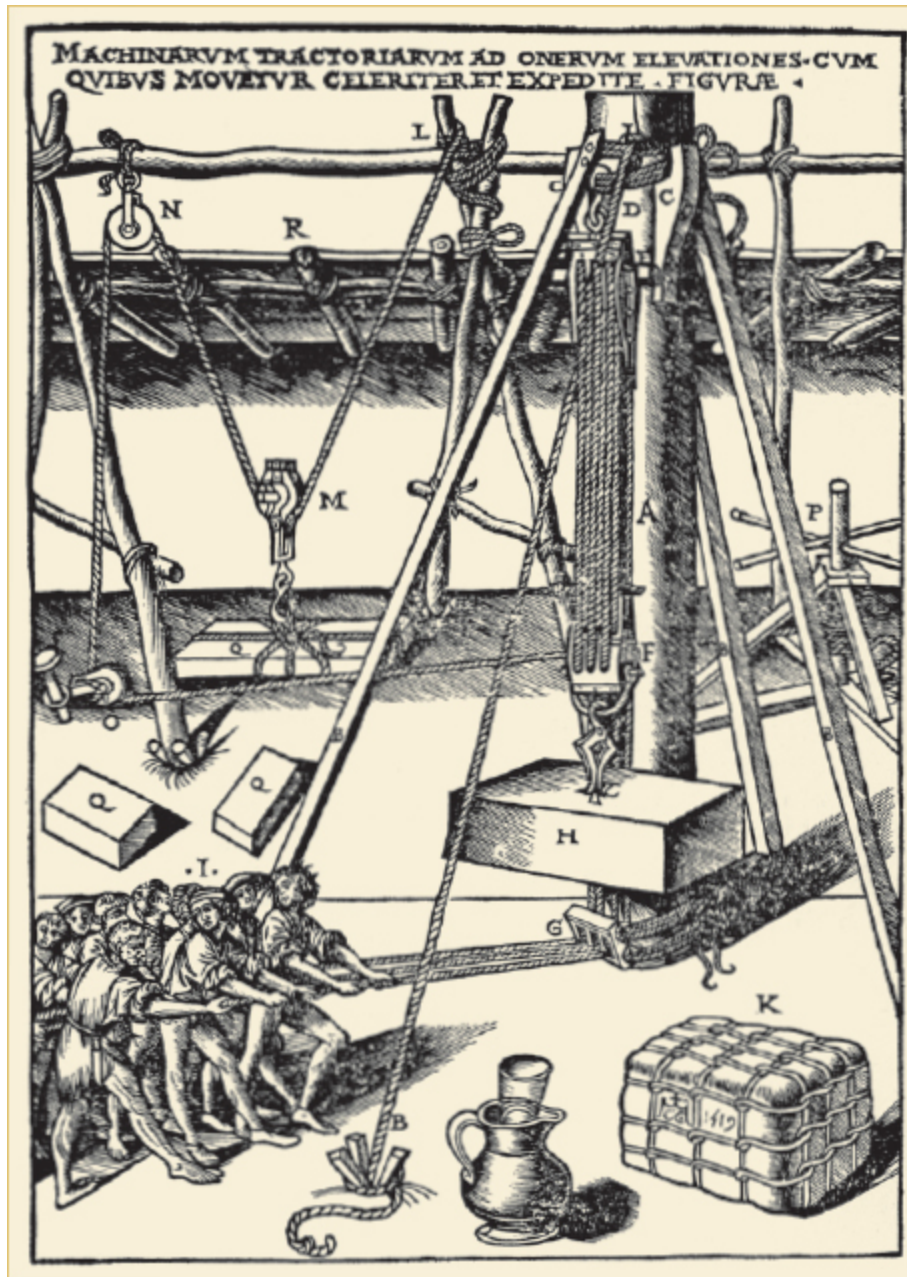


Abb. 1

Flaschenzug aus: Vitruv, De architectura libri X, Como 1521.

Plinius der Ältere (23/24-79 n. Chr.)

Gaius Plinius Secundus wurde in der oberitalienischen Stadt Como als Sohn eines römischen Ritters geboren. Über seine Biographie ist relativ wenig bekannt. In den

Jahren 47 bis 57 n. Chr. nahm er als Militärtribun in Germanien an den Feldzügen gegen die Chatten teil. Anschließend war er in Como und Rom als Anwalt tätig. Unter Vespasian wurde er zum *praefectus classis*, Kommandant der Kriegsflotte, in Misenum ernannt. Den Ausbruch des Vesuv im Jahr 79 n. Chr. beobachtete er zunächst von seiner Villa in Misenum aus, bestieg dann jedoch ein Schiff, um Flüchtlinge zu retten und den Ausbruch aus der Nähe beobachten zu können. Dabei kam er durch die giftigen Dämpfe ums Leben. Von seinen zahlreichen Werken ist lediglich die *Naturalis historia* („Naturkunde“) erhalten. Nach seinen eigenen Angaben benutzte Plinius bei der Zusammenstellung dieses enzyklopädischen Werkes zahlreiche Quellen, wobei er nicht immer über genügend Sachkenntnis verfügte, um die Qualität der jeweiligen Quelle zu beurteilen. Sehr oft ist er nicht in der Lage, die Wertlosigkeit einer Quelle zu erkennen beziehungsweise diese richtig zu interpretieren. Dazu kommt sein Hang zu Anekdoten, der jedoch seine Bücher zu einer unterhaltsamen Lektüre macht. Trotz dieser Mängel ist das Werk des Plinius eine wichtige Quelle.

Quellen zur Agrartechnik

Das älteste erhaltene Handbuch für Landwirte ist *De agricultura* („Über Landwirtschaft“) von Cato dem Älteren (234–149 v. Chr.), mit vollem Namen Marcus Porcius Cato Censorius. Eine weitere wichtige Quelle ist *De re rustica* („Über Landwirtschaft“) von Columella (1. Jh. n. Chr., mit vollem Namen Lucius Iunius Moderatus Columella). Diese beiden Werke beinhalten neben Anleitungen zur Führung von Landgütern auch Beschreibungen von Wein- und Ölpresen sowie praktische Ratschläge zu Viehzucht, Acker-, Obst- und Weinbau.

2. Epigraphische und ikonographische Quellen

Zu den epigraphischen Quellen gehören unter anderem Bauinschriften, Grab- und Weihesteine sowie Gesetzestafeln. Obwohl diese Quellengattung nur vereinzelt Informationen zu antiker Technik gibt, darf sie nicht außer Acht gelassen werden. Bauinschriften sind eine wichtige Quelle für die Datierung von Bauwerken, aber sie enthalten oft auch Informationen zur Organisation von Baustellen; auf Grab- und Weihestenen findet man Berufsbezeichnungen, und Gesetzestexte informieren über Arbeitsorganisation und Arbeitsbedingungen. Ägyptische Papyri und die Schrifttafeln von Vindolanda, einem römischen Militärlager in Nordengland, beinhalten ebenfalls vereinzelte Hinweise zu technischen Fragestellungen.

Ikonographische Quellen sind im Wesentlichen Statuen, Reliefs sowie Wand- und Vasenmalerei. Bildliche Darstellungen technischer Vorrichtungen können wesentlich zu deren Verständnis beitragen.

3. Baudenkmale

Aus der griechischen und römischen Antike sind zahlreiche Gebäude, Wasserleitungen, Straßen, Brücken, Staudämme, Tunnelbauten und andere Konstruktionen erhalten. Sie sind beeindruckende Zeugnisse antiker Ingenieurskunst, deren detailliertes Studium Einblick in antike Bautechniken gibt und zeigt, wie anstehende Probleme in der Praxis gelöst wurden.

4. Bodendenkmale und archäologische Quellen

Zu dieser Quellengattung gehören unter anderem Bergbaue, Steinbrüche, Aufbereitungs- und Verhüttungsanlagen, Siedlungen und militärische Anlagen,

wie Befestigungen und Lager. Bei archäologischen Ausgrabungen freigelegte Befunde geben wichtige Informationen zu technischen Fragen, vor allem in den Bereichen Erzaufbereitung und Verhüttung. Archäologische Befunde sind beispielsweise die einzigen Quellen zu Aufbau und Funktionsweise von Schmelzöfen. Die Interpretation dieser Befunde und der Produktionsabfälle ist oft sehr schwierig und bedarf der interdisziplinären Zusammenarbeit. Archäologische Fundstücke, wie zum Beispiel Teile von Geschützen, Bauteile von Mühlen und Pressen, aber auch Werkzeuge und Geräte, gehören ebenfalls zu dieser Quellengattung.

II. Grundlagen der Technik und des Ingenieurwesens der Antike

1. Energiequellen

Die Energiequellen der Antike waren Menschen- und Tierkraft sowie Wasser und Windkraft. Von Dampf getriebene Anlagen werden zwar von Heron von Alexandria beschrieben (Heron pneu. II, 6 und 11), als Energiequelle wurde Dampf in der Antike jedoch nicht genutzt. Holz und Holzkohle als Brennstoffe gehören ebenfalls zu den Energiequellen antiker Technik. Auf eine Untersuchung des Einflusses gesellschaftspolitischer und wirtschaftlicher Faktoren auf den Einsatz der verschiedenen Energiequellen wurde hier bewusst verzichtet, da eine Behandlung dieses Themas den Rahmen dieses Buches sprengen würde.

Menschenkraft

Menschliche Muskelkraft als Energiequelle hat viele Einsatzbereiche. Einer der wichtigsten ist das Bewegen und Heben von Lasten. Um die Effizienz der Menschenkraft zu erhöhen, bediente man sich mechanischer Vorrichtungen wie Krane, Hebewerke und Treträder. Innerhalb der Städte wurden Lasten vorwiegend mit Menschenkraft transportiert, und die ebenfalls von Menschen getragene Sänfte war ein gängiges Fortbewegungsmittel. Eine wichtige Rolle spielte die Menschenkraft auch in den Bereichen Handwerk und

Landwirtschaft. Als Beispiele seien der Antrieb von Töpferscheiben, einfachen Getreidemühlen, Weinpressen und Blasebälgen von Schmelzöfen und Schmiedeessen genannt.

Auch die Schifffahrt war in hohem Maße von Menschenkraft abhängig. Kriegsschiffe fuhren nur auf langen Fahrten oder, wenn sie auf Wache kreuzten, unter Segel. Bei Alarmbereitschaft oder in der Schlacht, wenn Beweglichkeit und Unabhängigkeit von den herrschenden Windverhältnissen notwendig waren, wurden sie ausschließlich durch Ruderer angetrieben. Auch die Lastschiffe der Binnenschifffahrt wurden gesegelt oder gerudert und teilweise stromaufwärts unter Einsatz von Menschenkraft getreidelt.

Tierkraft

Tierkraft kam hauptsächlich im Transportwesen und in der Landwirtschaft zum Einsatz, wenn Menschenkraft nicht mehr ausreichte. Als Arbeitstiere dienten Ochsen, Maultiere, Esel und Pferde, die letzteren galten jedoch als edle Tiere, die im militärischen Bereich, als Reittiere und im Circus bei Wagenrennen Verwendung fanden. Die bevorzugte Verwendung von Ochsen als Arbeitstiere anstelle von Pferden beruhte nicht nur auf dem in der antiken Literatur immer wieder betonten „edlen Status“ der Pferde, sondern hatte auch ökonomische Gründe. Ochsen sind in der Haltung wesentlich kostengünstiger als Pferde, die hochwertigeres Futter brauchen. Dazu kommt, dass Ochsen gefügiger sind und wesentlich schwerere Lasten ziehen können. Hatten sie ausgedient, konnte man sie schlachten und verspeisen. Pferdefleisch wurde, wahrscheinlich aus religiösen Gründen, in der Antike nicht gegessen. Der einzige Vorteil, den Pferde gegenüber Ochsen haben, ist ihre Schnelligkeit, die in den

Einsatzbereichen Transportwesen und Landwirtschaft von untergeordneter Bedeutung war. Mit der Entwicklung der Rotationsmühle im 2. Jahrhundert v. Chr. wurden neben Eseln auch ausgediente Pferde zum Drehen der Mahlwerke eingesetzt. Ein weiterer Einsatzbereich von Pferden war das Ziehen von Reisewagen.

Als Tragtiere verwendete man hauptsächlich Maultiere, die sich durch Trittsicherheit auf schmalen Gebirgspfaden sowie große Ausdauer und Zähigkeit auszeichnen. Ein Maultier kann eine Last von bis zu 150 kg tragen. Einer Inschrift aus Salagassos in Pisidia, dem heutigen Antalya in der Türkei, zufolge entsprach die Tragekapazität von drei Maultieren der eines Wagens. Zu unterst auf der Liste der Arbeitstiere stand der Esel, dessen Tragekapazität ungefähr die Hälfte der eines Maultieres beträgt. Der wichtigste Einsatzbereich von Eseln als Arbeitstieren war der Antrieb der Rotationsmühlen in Müllereien.

Wasser- und Windkraft

Ab dem 1. Jahrhundert v. Chr. kannte man Wasserräder zum Antrieb von Mühlen und zum Wasserheben und auch zum Antrieb von Steinsägen. Im Bergbau kam Wasserkraft bei der Technik des Ausschwemmens, einer typisch römischen Abbaumethode, zum Einsatz.

Windkraft wurde in der Antike ausschließlich in der Schifffahrt genutzt. Windmühlen waren unbekannt.

Holz und Holzkohle

Holz und Holzkohle waren die wichtigsten Brennstoffe der Antike. Häcksel und getrockneter Dung spielten nur eine untergeordnete Rolle. Holz und Holzkohle waren die Brennstoffe für Küchenherde, Backöfen, Heizungen, Anlagen zur Warmwasserbereitung, Töpferöfen,

Kalkbrennöfen, Schmelzöfen sowie Öfen und Herde zur Weiterverarbeitung der Metalle. Der durchschnittliche Brennwert von Holz liegt bei rund 4,7 kWh/kg. Holzkohle hat mit rund 8,6 kWh/kg fast den doppelten Brennwert. In einem traditionellen Kohlenmeiler gewinnt man aus 1 m³ Holz rund 60 bis 70 kg Holzkohle. Holzkohle kam vor allem beim Verhüttungsprozess und beim Betrieb von Schmiedeessen zum Einsatz. In beiden Anwendungsbereichen sind hohe Temperaturen erforderlich, und der in der Holzkohle vorhandene Kohlenstoff ist bei der Reduktion von Erzen zu Metallen und beim Aufkohlen von Weicheisen in der Schmiedeesse von grundlegender Bedeutung. Neben seiner Bedeutung als Brennstoff war Holz ein wichtiger Rohstoff im Baugewerbe und vor allem im Schiffbau. Obwohl das Konzept der Wiederaufforstung in der Antike unbekannt war und riesige Flächen im Lauf der Jahrhunderte entwaldet wurden, kam es lediglich vereinzelt in küstennahen Regionen und auf kleinen griechischen Inseln zur Verkarstung der Landschaft. Die weit verbreitete Ansicht, dass die großräumigen Verkarstungen in den Mittelmeerländern bereits in der Antike verursacht wurden und dass es dadurch zu ernsthaften Versorgungsengpässen mit Holz kam, ist zu hinterfragen. Dazu waren die Bevölkerungsdichte und der Holzverbrauch trotz allem zu gering. Die Waldbestände in Italien waren im 4. Jahrhundert n. Chr. noch so ausgedehnt, dass beispielsweise der enorme Holzbedarf der elf großen Thermenanlagen und der zahlreichen kleineren Bäder in der Stadt Rom gedeckt werden konnte. Zur Klärung der Ursachen der Verkarstung wären umfassende Studien, vor allem unter Einbeziehung mittelalterlicher und neuzeitlicher Quellen, erforderlich.

2. Naturwissenschaftliche Grundlagen

Eine wichtige Voraussetzung für das Verständnis antiker Technik ist das Wissen um die in der Antike bekannten mathematischen, geometrischen und physikalischen Gesetze. Da eine ausführliche Behandlung dieses umfangreichen und faszinierenden Themas den Rahmen dieses Buches sprengen würde, wird hier nur auf ausgewählte Prinzipien eingegangen, deren Verständnis das Lesen dieses Buches erleichtert.

Mathematik und Geometrie

In der griechischen und römischen Antike verwendete man Buchstaben als Zahlzeichen. Ein Zeichen für Null war unbekannt. Als Rechenhilfen dienten der Abakus, ein Rechenbrett ähnlich dem modernen chinesischen Abakus (siehe Anhang 2), und Multiplikationstabellen. Neben den Grundrechenarten Addieren, Subtrahieren, Dividieren und Multiplizieren kannte man Quadrieren, Wurzelziehen und Bruchrechnen. Der Kreiswinkel war in 360 Grad unterteilt. Dezimalzahlen wurden als Brüche angegeben.

Im Folgenden sollen die wichtigsten mathematisch/geometrischen Lehrsätze, die in der antiken Technik zur Anwendung kamen, kurz vorgestellt werden. Die Inhalte der meisten dieser Lehrsätze waren bereits bekannt, bevor sie als Lehrsätze formuliert wurden.

Die Lehrsätze des Thales von Milet

Thales von Milet (um 624–547 v. Chr.) gehört zu den ersten namentlich bekannten griechischen Philosophen und Mathematikern. Auf ihn geht die Formulierung erster geometrischer Lehrsätze zurück. Er selbst hat nichts Schriftliches hinterlassen. Seine Lehre ist in den Schriften späterer Philosophen, unter anderem in den Werken des Aristoteles und im Kommentar des Proklos Diadochos (412–

485 n. Chr.) zum ersten Buch der „Elemente“ des Euklid überliefert. Folgende Lehrsätze werden ihm zugeschrieben: Jeder Kreis wird von seinem Durchmesser in zwei gleiche Teile geteilt (Thaleskreis). Jedes Dreieck, dessen längste Seite vom Durchmesser eines Kreises gebildet wird und dessen Scheitel auf dem Bogen des Halbkreises liegt, ist ein rechtwinkliges Dreieck (Satz des Thales). Die Basiswinkel eines gleichschenkligen Dreiecks sind gleich. Zwei sich schneidende Gerade bilden zwei Paar je gleicher Winkel (Scheitelwinkel).

Der Pythagoräische Lehrsatz

Um 531 v. Chr. gründete der auf der Insel Samos geborene Philosoph Pythagoras in der süditalienischen Stadt Kroton eine Schule. Sein bekanntester Lehrsatz besagt, dass das Quadrat der längsten Seite eines rechtwinkligen Dreiecks (Hypotenuse) gleich der Summe der Quadrate der beiden anderen Seiten (An- und Gegenkathete) ist ($a^2 + b^2 = c^2$). Die Anwendungsbereiche des Pythagoräischen Lehrsatzes sind vielfältig. Mit Hilfe dieses Lehrsatzes kann man unter anderem auf einfache Weise einen rechten Winkel ausstecken. Beispiele für seine praktische Anwendung in der Antike sind die Planung der Umfahrung der geologischen Störung im Eupalinostunnel auf Samos und die Aufstellung einer Archimedischen Schraubenpumpe.

Euklids Dreiecksätze

Das älteste erhaltene Lehrbuch der Geometrie ist das von Euklid (um 300 v. Chr.) verfasste Werk „Elemente“. Im besonderen seine Sätze über gleiche und ähnliche Dreiecke fanden in der antiken Landvermessung praktische Anwendung.

Zwei Dreiecke sind gleich, wenn

1. die drei Seiten beider Dreiecke gleich sind,

2. zwei Seiten und der von ihnen eingeschlossene Winkel gleich sind,
3. zwei Winkel und eine Seite gleich sind,
4. zwei Seiten und ein Winkel gleich sind.

Die Erkenntnisse dieser Lehrsätze, kombiniert mit dem Lehrsatz von der Gleichheit der Scheitelwinkel zweier sich schneidender Geraden, wurde in der Landvermessung angewendet, wenn man beispielsweise die Breite eines Flusses bestimmen wollte, ohne ihn zu überschreiten.

Im Gegensatz zu gleichen Dreiecken, die durch Verschiebungen, Drehungen und Spiegelungen zur Deckungsgleichheit gebracht werden können, stimmen ähnliche Dreiecke in ihren Winkelmaßen und im Verhältnis der Längen ihrer Seiten überein.

Zwei Dreiecke sind ähnlich, wenn sie übereinstimmen

1. in der Größe zweier Winkel,
2. im Verhältnis ihrer drei Seiten,
3. im Verhältnis zweier Seiten und der Größe des eingeschlossenen Winkels,
4. im Verhältnis zweier Seiten und der Größe des der längeren Seite gegenüber liegenden Winkels.

Die Lehrsätze über die Ähnlichkeit von Dreiecken fanden ebenfalls in der Vermessungstechnik praktische Anwendung, wenn man beispielsweise im Zuge einer Belagerung die Höhe der Stadtmauer bestimmen wollte.

Physik

Physik als Fachdisziplin im modernen Sinn gab es in der Antike nicht. Zahlreiche heute bekannte und als Lehrsätze formulierte physikalische Prinzipien fanden in der antiken Technik praktische Anwendung, obwohl ihre Gesetzmäßigkeiten als solche noch nicht erkannt wurden. Erörterungen physikalischer Fragen und Versuche,